

乳化剂、亲水胶体及谷朊粉对方便湿面品质的影响

郭婉雪¹, 郑学玲^{1*}, 洪静^{1,2*}, 王亚新¹, 李盘欣², 王红新²

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001) (2. 河南省南街村(集团)有限公司, 河南临颖 462600)

摘要: 为解决方便湿面因水分含量高易发生老化, 硬度增加、弹性下降和口感变差等问题, 采用三类添加物即乳化剂(单甘酯、硬脂酰乳酸钠、蔗糖酯)、亲水胶体(黄原胶、瓜尔胶、羧甲基纤维素钠)和谷朊粉对方便湿面面片的色泽、蒸煮品质及储藏期间的质构拉伸特性和水分分布的影响开展了研究。结果表明: 蔗糖酯将面片的亮度从 95.26 显著提高到 96.78; 三类添加物均显著降低了蒸煮损失, 其中添加 0.20% 硬脂酰乳酸钠使方便湿面的蒸煮损失从 5.81% 降低至 3.00%; 储藏期间, 添加 0.40% 单甘酯可使方便湿面的硬度从 4 787.44 g 降低至 2 904.95 g; 三类添加物均显著提高了方便湿面的拉伸特性, 其中添加 0.20% 蔗糖酯使方便湿面的拉伸力从 17.94 g 提高到 24.13 g; 从水分分布可以发现, 乳化剂抑制了结合水的流动, 增大了结合水的含量, 减小了自由水的流失。综上所述, 添加三类添加物均延缓了方便湿面在储藏期间淀粉的老化, 使方便湿面的蒸煮损失降低、硬度减小和弹性增加, 进而改善了方便湿面的品质, 其中添加 0.40% 的单甘酯和 0.30% 瓜尔胶的效果较好。

关键词: 方便湿面; 乳化剂; 亲水胶体; 老化; 硬度; 水分分布

文章编号: 1673-9078(2023)05-190-200

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.5.0673

Effects of Emulsifiers, Hydrocolloids, and Wheat Gluten on the Quality of Instant Wet Noodles

GUO Wanxue¹, ZHENG Xueling^{1*}, HONG Jing^{1,2*}, WANG Yaxin¹, LI Panxin², WANG Hongxin²

(1. College of Grain, Oil and Food, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

(2. Henan Nanjiacun (Group) Co. Ltd., Linying 462600, China)

Abstract: To solve the problems of instant wet noodles, such as easy retrogradation due to high moisture content, decreased elasticity, and poor taste, three types of additives, namely emulsifiers (monoglyceride, sodium stearyl lactylate, and sucrose ester), hydrocolloids (xanthan gum, guar gum, and sodium carboxymethyl cellulose), and wheat gluten, were used and their effects on the color, cooking quality, texture, tensile properties, and moisture distribution of instant wet noodles during storage were investigated. Sucrose ester significantly increased the brightness of the noodles from 95.26 to 96.78, while all three types of additives significantly reduced cooking loss, with the addition of 0.20% sodium stearyl lactylate reducing the cooking loss of instant wet noodles from 5.81% to 3.00%. During storage, adding 0.40% monoglyceride significantly reduced the firmness of instant wet noodles from 4 787.44 g to 2 904.95 g. All three types of additives significantly improved the tensile properties of instant wet noodles, and the tensile strength of instant wet noodles increased from 17.94 g to 24.13 g following the addition of 0.20% sucrose ester. From moisture distribution, emulsifiers inhibited the flow of bound water, increased the content of bound water, and reduced the loss of free water. In summary, all three types of additives delayed the retrogradation of starch in instant wet noodles during storage, reduced the cooking loss of noodles, and reduced firmness while increasing the elasticity, thereby improving the quality of the instant wet noodles. Specifically, the addition of 0.40% monoglyceride and 0.30% guar gum produced optimal effects.

引文格式:

郭婉雪, 郑学玲, 洪静, 等. 乳化剂、亲水胶体及谷朊粉对方便湿面品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(5): 190-200.

GUO Wanxue, ZHENG Xueling, HONG Jing, et al. Effects of emulsifiers, hydrocolloids, and wheat gluten on the quality of instant wet noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(5): 190-200.

收稿日期: 2022-05-26

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目计划(21A550004); 河南省博士后科研启动项目; 河南工业大学自科创新基金一般项目(2020ZKCJ12)

作者简介: 郭婉雪(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 淀粉加工理论与技术, E-mail: 3286208383@qq.com

通讯作者: 郑学玲(1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 淀粉加工理论与技术, E-mail: xlzhenghaut@126.com; 共同通讯作者: 洪静(1989-), 女, 博士, 研究方向: 淀粉加工理论与技术, E-mail: jing.hong@haut.edu.cn

Key words: instant wet noodles; emulsifier; hydrocolloid; retrogradation; firmness; moisture distribution

小麦面条是亚洲的主食之一,经历了从手工制作到大规模机械化生产的发展^[1]。据研究发现,我国每年7 000多万t的面粉消费中,面条消费约占35%^[2]。目前我国市场比较普遍的面条产品形式以挂面和方便面为主,这两种产品主要通过热风脱水干燥或者油炸的方式使其含水量降低,延长货架期^[3],但是会使面条的风味和营养价值降低^[4,5]。基于以上原因,方便湿面应运而生,方便湿面营养丰富,口感爽滑,被业内权威人士称为第3代方便湿面^[6],其将成为继油炸方便面后的换代产品。方便湿面是将生鲜面熟制后进行酸浸处理灭菌的保鲜湿面^[7]。

小麦粉含有70%~75%的淀粉,在其加工过程中淀粉分子的重排减少水分子与淀粉分子之间的相互作用,引起淀粉老化,使得面条的硬度随着储藏时间的延长而增加,进而导致面条的口感变差^[8]。淀粉老化是面条品质劣化的主要原因^[9],因此延缓老化可以改善方便湿面的食用品质。常用的调控淀粉老化改善方便湿面品质的方法有酶法修饰、物性修饰和化学修饰等^[10]。物性修饰主要包括添加物添加、物性处理和不同淀粉混合。赵启竹^[11]研究发现可溶性大豆多糖可以改善湿面的蒸煮和质构品质,提高湿面的热稳定性并减缓其老化。李立华等^[12]研究发现硬脂酰乳酸钠和 β -环糊精可以抑制淀粉的重结晶来改善湿面的品质。肖东等^[13]研究发现瓜尔胶和卡拉胶可以抑制结合水的流动来延缓湿面的老化。Liu等^[14]研究发现木薯淀粉和谷朊粉的添加可以提高保鲜熟面的品质。Guo等^[15]研究发现添加糯小麦粉可以改变直链淀粉的含量从而获得高品质的湿面。Niu等^[16]研究发现硬脂酰乳酸钠可以改善面条的微观结构和质构特性。目前,众多学者常探究一种添加物对湿面品质的影响,未比较不同种类添加物对其品质影响。本研究通过添加不同种类的添加物(乳化剂、亲水胶体和谷朊粉),探索其对方便湿面品质及在储藏期间的水分分布的影响,旨在为方便湿面的加工、贮藏提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

五得利七星雪晶小麦粉(水分:12.77%,灰分:0.52%,蛋白质:11.76%),五得利面粉集团有限公司;单甘酯、蔗糖酯、硬脂酰乳酸钠,源叶生物;瓜尔胶,北京市瓜尔润科技股份有限公司;黄原胶,新疆梅花氨基酸有限公司;羧甲基纤维素钠,上海申光食用化

学品有限公司;谷朊粉,河南飞天农业开发股份有限公司;乳酸,天津市瑞金特化学品有限公司;DL-乳酸钠溶液,阿拉丁试剂上海有限公司。

1.2 仪器与设备

JHMZ-200 针式和面机,北京东孚久恒仪器技术有限公司;HM740 海氏和面机,青岛汉尚电器有限公司;JMTD-168/140 面条机,北京东孚久恒仪器技术有限公司;MICG1A 色差仪,SATAKE CORPORATION JAPAN;真空(充气)包装机,STAR 星火机械;BXR-30R 立式压力蒸汽灭菌器,上海博迅有限公司医疗设备厂;LGJ-10C 冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司;LG-01 高速粉碎机,瑞安市百信制药机械有限公司;SPX-250 恒温干燥箱,北京市永光明医疗仪器有限公司;TA-XT 质构仪,英国 Stable Micro Systems 仪器公司;MicroMR-CL-I 变温型核磁共振,苏州(上海)纽迈电子科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 方便湿面的制作

称取4g食盐溶于66g蒸馏水中,将盐溶液加至200g小麦粉中,在和面机中进行搅拌混合,经过慢速搅拌2min,快速搅拌4min,慢速搅拌2min。面絮用保鲜膜包裹后置于25℃的恒温培养箱中醒发20min,然后进行压片、切条。取20cm长的面条10根,称质量后放入装有1000mL水的不锈钢盆中,煮面1min,立即将面条捞出,置于漏水网状容器中,水洗30s之后将面条浸泡于pH值2.5的乳酸-乳酸钠溶液中90s,进行真空包装后用高压蒸汽灭菌锅在95℃下灭菌15min,最后放到4℃冰箱中进行储藏,储藏时间为0、2、4、6、8d。

试验用样品制作:参考GB-2760及相关报道,将0.40%、0.60%、0.80%的单甘酯(GMS),0.10%、0.15%、0.20%的硬脂酰乳酸钠(SSL),0.10%、0.20%、0.30%的蔗糖酯(SE)和0.10%、0.20%、0.30%的黄原胶(XG),0.10%、0.20%、0.30%的瓜尔胶(GG),0.20%、0.30%、0.40%的羧甲基纤维素钠(CMC)以及3%的谷朊粉(WG)分别加入到面粉中进行混合。称取4g食盐溶于66g蒸馏水中,将盐溶液加至200g混合粉中,经和面、醒发、切条、水煮、酸浸、真空包装、灭菌后放到4℃冰箱中进行储藏,储藏时间为0、2、4、6、8d。

1.3.2 面片色泽的测定

采用色差仪测定面条的 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 按式 (1) 计算色差值:

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots \quad (1)$$

式中:

ΔE^* ——色差值;

L^* ——亮度指数, 0 代表黑色, 100 代表白色;

a^* ——红绿值, +方向表示红色增加, -方向表示绿色增加;

b^* ——蓝黄值, +方向表示黄色增加, -方向表示蓝色增加。

1.3.3 面条蒸煮品质测定

取生面条 20 g 左右, 在 500 mL 沸水中煮至面条最佳蒸煮时间 (2~3 min) 后捞出置于滤纸上冷却 3~5 min, 将水分沥干, 再进行称量; 取湿面条 20 g 左右, 在 500 mL 沸水中煮至面条最佳蒸煮时间后, 将面汤冷却定容至 500 mL, 取 40 mL 于烘干恒重后的铝盒, 再置于烘箱 10 h 以上至恒重, 冷却干燥后称重, 干物质吸水率及蒸煮损失率的计算见式 (2)、(3):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 \times (1 - w)} \times 100\% \quad (2)$$

$$S = \frac{m \times 12.5}{m_0 \times (1 - w)} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

W ——干物质吸水率, %;

S ——蒸煮损失率, %;

w ——面条煮前水分含量, %;

m_0 ——面条煮前的质量, g;

m_1 ——面条煮后的质量, g;

m ——面汤烘干后的质量, g。

1.3.4 方便湿面质构特性测定

取储藏后的方便湿面, 在开水中复热 1 min, 取三根方便湿面平行放置于测试台中心, 面条等距间隔放置, 利用物性测试仪的 TPA 检测探头两次下压, 测定面条的质构特性。

TPA 各实验参数设置为下压样品变形量: 70%; 测试前探头的下降速度: 2.00 mm/s; 测试速度: 0.8 mm/s; 测试后探头的回程速度: 0.8 mm/s; 触发力: 5 g; 探头类型: HDP/PFS。

1.3.5 方便湿面拉伸特性测定

取 6 根储藏后的方便湿面, 在开水中复热 1 min, 将面条两端均匀缠绕在探头上, 避免翻折或转向, 使面条较为均匀的中间部分处于探头之间进行测试。

拉伸各实验参数设置为测前速度: 2 mm/s; 测中速度: 2 mm/s; 测后速度: 10 mm/s; 拉伸距离: 120 mm; 触发力: 5 g。

1.3.6 方便湿面水分分布测定

采用低场核磁测定, 取 4 根 2 cm 左右的方便湿面, 使用专用胶布进行缠绕, 包裹严实后放入实验试管中, 置于核磁共振分析仪中分析测试。参数设置: 探头=磁体 1~10 mm, 采样频率 SW=333 kHz, 采样点数 TD=200 004, 累加次数 NS=32。

1.4 数据处理

每组试验重复 3 次以上, 结果采用 SPSS 17.0 统计软件进行 LSD 显著性分析, 显著水平为 $P < 0.05$, 统计值使用“平均值±标准差”表示, 所得分析结果进一步用 Excel 及 Origin 8.6 绘图。

2 结果与分析

2.1 添加物对面片色泽的影响

表 1 不同种类添加物对面片色泽的影响

Table 1 Effect of different kinds of additives on the color of dough sheet

样品	L	a^*	b^*
对照组	95.26±0.90 ^{de}	0.84±0.10 ^a	19.92±1.10 ^b
GMS 0.40%	92.62±0.90 ^f	0.56±0.10 ^e	21.70±0.60 ^a
GMS 0.60%	94.46±0.40 ^e	0.72±0.10 ^{bc}	21.60±1.10 ^a
GMS 0.80%	96.00±0.40 ^{abcd}	0.58±0.10 ^{cd}	20.50±0.80 ^{ab}
SSL 0.10%	94.46±0.40 ^e	0.70±0.10 ^{bcd}	20.58±0.50 ^{ab}
SSL 0.15%	94.90±1.00 ^{de}	0.70±0.10 ^{bcd}	20.70±1.10 ^{ab}
SSL 0.20%	95.44±1.10 ^{cbde}	0.80±0.00 ^b	20.06±1.10 ^b
SE 0.10%	96.78±0.50 ^a	0.70±0.00 ^{bcd}	20.14±0.6 ^b
SE 0.20%	96.50±0.30 ^{ab}	0.62±0.10 ^{cd}	20.36±0.50 ^{ab}
SE 0.30%	96.14±0.30 ^{abc}	0.64±0.10 ^{cd}	20.12±0.80 ^b
对照组	95.26±0.90 ^a	0.84±0.05 ^b	19.92±1.10 ^{ab}
XG 0.1%	93.74±0.51 ^{bc}	0.82±0.08 ^b	19.50±0.73 ^{abc}
XG 0.2%	93.22±0.31 ^{cd}	0.80±0.10 ^b	19.10±0.86 ^{bc}
XG 0.3%	93.16±0.31 ^{cd}	0.60±0.10 ^c	19.44±0.57 ^{abc}
GG 0.1%	94.32±0.96 ^{ab}	0.80±0.16 ^b	19.10±0.87 ^{bc}
GGJ 0.2%	93.70±0.54 ^{bc}	0.90±0.20 ^b	18.52±0.68 ^c
GGJ 0.3%	93.34±0.13 ^{bcd}	0.84±0.05 ^b	19.76±0.50 ^{abc}
CMC 0.2%	92.50±1.20 ^d	0.88±0.08 ^b	19.38±0.88 ^{abc}
CMC 0.3%	92.28±0.65 ^d	0.94±0.21 ^b	19.94±0.76 ^{ab}
CMC 0.4%	92.58±0.33 ^d	0.84±0.09 ^b	20.38±0.88 ^a
WG 3%	90.40±0.85 ^e	1.30±0.10 ^a	19.92±0.59 ^{ab}

注: 数据由平均值±标准差表示, 同列不同上标字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。GMS、SSL、SE 分别表示单甘酯、硬脂酰乳酸钠、蔗糖酯; XG、GG、CMC、WG 分别表示黄原胶、瓜尔胶、羧甲基纤维素钠和谷朊粉, 下同。

由表 1 可知, 添加单甘酯、硬脂酰乳酸钠的面片的亮度随添加量的增加显著升高 ($P<0.05$)。添加蔗糖酯的面片亮度随添加量的增加显著降低 ($P<0.05$), 其中添加 0.10% 蔗糖酯的面片亮度从对照组的 95.26 提高到 96.78。从表中还可以发现, 添加黄原胶、瓜尔胶、羧甲基纤维素钠的面片的亮度随添加量的增加而降低, 并且均显著低于对照组 ($P<0.05$)。添加谷朊粉的面片红度 a^* 值较对照组显著增高, 这可能是因为谷朊粉的加入使得面粉中的水分活度发生了变化, 增强了变色反应的缘故^[17]。

2.2 添加物对方便湿面蒸煮品质的影响

表 2 不同种类添加物对方便湿面蒸煮特性的影响

Table 2 Effects of different kinds of additives on the characteristics of instant wet noodle cooking

样品	吸水率/%	蒸煮时间/min	蒸煮损失率/%
对照组	194.55±1.48 ^a	3.12±0.02 ^a	5.18±0.86 ^a
GMS 0.40%	180.95±1.91 ^b	2.44±0.03 ^d	3.81±0.92 ^{cd}
GMS 0.60%	180.85±0.35 ^b	2.45±0.01 ^d	3.95±0.42 ^c
GMS 0.80%	176.05±4.03 ^c	2.46±0.01 ^d	3.94±0.21 ^c
SSL 0.10%	171.50±1.27 ^d	2.58±0.02 ^b	4.56±0.21 ^b
SSL 0.15%	177.15±0.92 ^{bc}	2.53±0.03 ^{bc}	4.40±0.42 ^b
SSL 0.20%	166.10±1.41 ^e	2.45±0.04 ^e	3.00±0.14 ^d
SE 0.10%	179.95±0.21 ^{bc}	2.44±0.02 ^d	3.76±0.21 ^{cd}
SE 0.20%	175.85±0.63 ^{cd}	2.49±0.03 ^{cd}	3.61±0.50 ^d
SE 0.30%	177.99±7.30 ^{bc}	2.48±0.01 ^{cd}	3.65±0.42 ^{cd}
对照组	194.55±1.48 ^a	3.12±0.02 ^a	5.18±0.86 ^a
XG 0.10%	174.13±3.28 ^b	2.28±0.04 ^e	3.45±0.57 ^{bc}
XG 0.20%	165.14±5.14 ^b	2.30±0.04 ^e	3.94±1.47 ^b
XG 0.30%	167.89±1.62 ^b	2.19±0.01 ^f	3.32±0.18 ^{bc}
GG 0.10%	172.49±1.71 ^b	2.50±0.01 ^c	3.93±1.53 ^b
GG 0.20%	167.88±1.68 ^b	2.39±0.02 ^d	3.88±2.31 ^b
GG 0.30%	175.59±0.32 ^b	2.30±0.03 ^e	3.45±0.09 ^{bc}
CMC 0.20%	166.10±9.50 ^b	2.31±0.04 ^e	3.47±0.96 ^{bc}
CMC 0.30%	169.92±2.67 ^b	2.40±0.03 ^d	3.75±0.41 ^b
CMC 0.40%	167.06±4.65 ^b	2.14±0.03 ^f	2.99±0.85 ^d
WG 3%	171.41±7.22 ^b	3.03±0.02 ^b	3.73±1.14 ^c

不同种类的添加物对方便湿面蒸煮品质的影响如表 2 所示。由表 2 可知, 添加乳化剂和亲水胶体的方便湿面吸水率均显著低于对照组 ($P<0.05$), 这与陈佳佳等^[18]的研究一致, 可能是由于其与淀粉分子发生作用, 降低了淀粉的吸水性。其中添加 0.20% 硬脂酰乳酸钠和 0.20% 黄原胶的方便湿面吸水率最低, 从对照组的 194.55% 分别降低至 166.10% 和 165.14%。添加谷朊粉后, 方便湿面的吸水率较对照组也显著降低

($P<0.05$), 这可能是谷朊粉加强了面筋蛋白网络结构, 在一定程度上阻止了水分的进入^[18]。

添加乳化剂和亲水胶体的方便湿面的最佳蒸煮时间均显著低于对照组 ($P<0.05$), 其中添加 0.10% 的蔗糖脂肪酸酯和 0.40% 的羧甲基纤维素钠的最佳蒸煮时间最低, 从对照组的 3.12 min 分别降低至 2.44 min 和 2.14 min。单甘酯和蔗糖脂肪酸酯不同添加量之间没有显著性差异。

添加乳化剂和亲水胶体的方便湿面的蒸煮损失率均显著低于对照组 ($P<0.05$)。这可能是因为乳化剂与淀粉会形成复合物而亲水胶体可以形成凝胶网络结构, 两者均会限制淀粉的溶出, 从而降低面条的蒸煮损失率^[19,20]。由表 2 可知硬脂酰乳酸钠的不同添加量之间有显著性差异, 添加 0.20% 的硬脂酰乳酸钠的方便湿面的蒸煮损失率最低为 3.00%, 这可能是因为硬脂酰乳酸钠的双亲结构有“桥梁作用”使散落的小分子变成大分子, 加强了面筋网络结构, 从而降低了面条的蒸煮损失率^[21]。

2.3 添加物对方便湿面在储藏过程中质构特性的影响

2.3.1 硬度

研究表明在储藏期间, 方便湿面作为淀粉质食品会发生淀粉老化进而导致面条硬度的增加^[22]。不同种类的添加物在 4 °C 储藏条件对方便湿面硬度的影响如图 1 所示, 由图 1a~1c 可知: 在 4 °C 储藏条件下, 添加乳化剂的方便湿面的硬度均显著低于对照组 ($P<0.05$), 且硬度随储藏时间的增加呈先增加后降低的趋势, 但均显著高于储藏 0 d 的硬度, 并在第四天达到最大值, 其硬度的增加可能是因为水分的流失引起的^[22], 这一变化趋势与张婉等^[23]研究相似。在储藏过程中, 添加 0.40% 单甘酯时方便湿面的硬度最低, 最低值为 2 904.05 g, 硬度的降低是因为乳化剂和方便湿面中的直链淀粉反应形成不溶性复合物, 降低淀粉吸水溶胀能力, 抑制淀粉重结晶, 进而防止淀粉老化, 从而降低了方便湿面的硬度^[24]。

由图 1d~1f 可知, 方便湿面的硬度随储藏天数的增加均呈先增大后减小的趋势, 这和 Pan 等^[25]研究的黄原胶对冷冻熟面的硬度整体变化趋势一致。对照组和添加谷朊粉的方便湿面的硬度均在第 4 天达到最大, 最大值分别为 5 899.07 g 和 5 639.61 g, 而添加亲水胶体的在第 2 天达到最大值。在储藏的前两天, 添加亲水胶体和谷朊粉的方便湿面硬度显著高于对照组 ($P<0.05$), 这是由于谷朊粉补充了面筋蛋白, 加强

面筋网络结构,增加了方便湿面的硬度^[26],亲水胶体可以通过其极性基团和面筋的肽链之间相互作用来增强方便湿面的硬度^[27]。但在储藏的后期,添加亲水胶体的方便湿面硬度显著低于对照组 ($P<0.05$),其中添加0.3%瓜尔胶的硬度最低为3 018.74 g。这是由于大多数亲水胶体分子中的羟基能与淀粉链上的羟基及周围的水分子形成大量的氢键,从而阻碍了淀粉分子之间氢键的结合,并使食品保持一定的水分含量,使得方便湿面硬度降低。

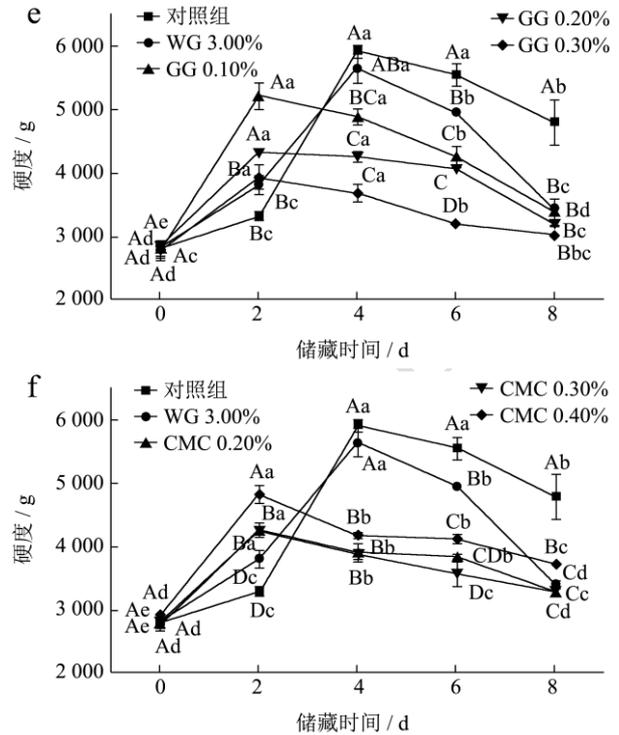
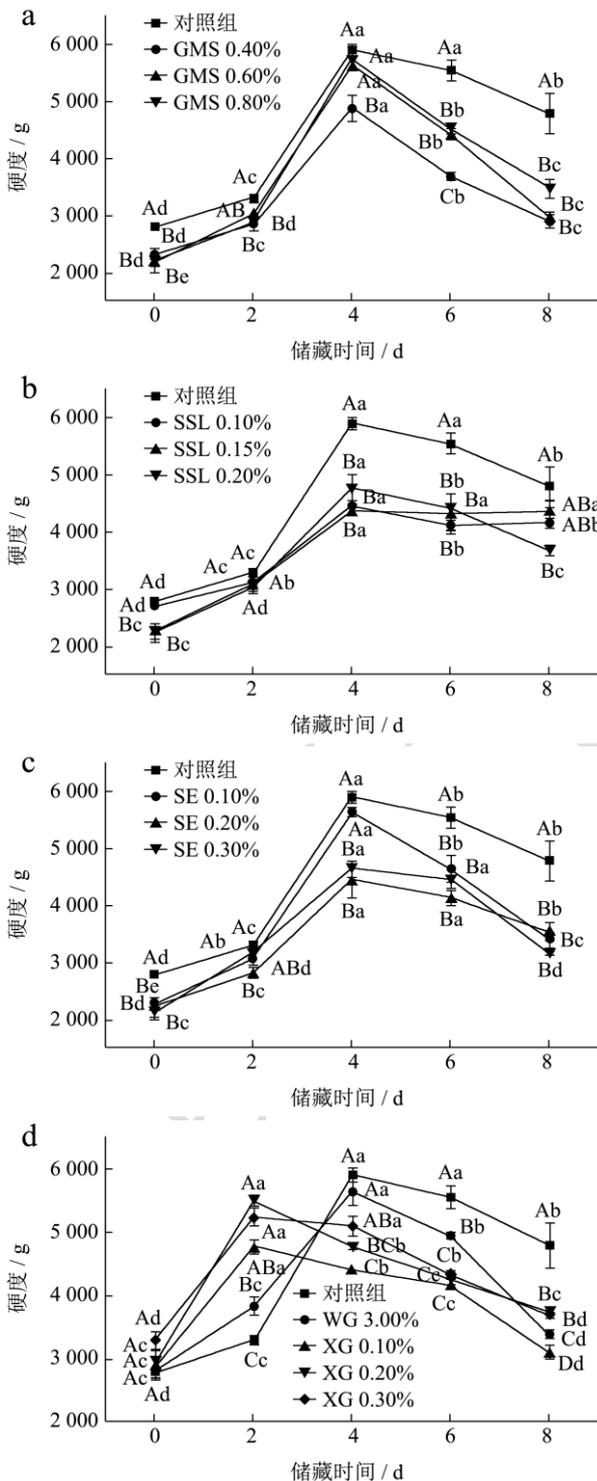


图1 储藏期间不同种类添加物对方便湿面硬度的影响

Fig.1 Effects of different kinds of additives on the hardness of instant wet surface during storage

注:不同小写字母表示同一样品在不同储藏天数具有显著性差异 ($P<0.05$),不同大写字母表示在相同储藏天数不同样品之间具有显著性差异 ($P<0.05$)。下图同。

2.3.2 弹性

不同种类的添加物在4℃储藏条件对方便湿面弹性的影响如图2所示,由图2a~2c可知,方便湿面的弹性随储藏时间的增加呈下降的趋势。与对照组相比,添加乳化剂的方便湿面的弹性增高但不显著。由图2d~2f可知,在4℃储藏条件下,添加谷朊粉和亲水胶体的方便湿面弹性随储藏天数的增加呈下降的趋势。由图2d可知,添加谷朊粉的方便湿面在储藏0d时弹性从0.91显著提高到0.94 ($P<0.05$),这是因为谷朊粉使面筋筋力得到了加强,进而提高了方便湿面的弹性和延展性^[28]。由图2e可以得出方便湿面的弹性随瓜尔胶添加量的增加显著降低,这可能是因为瓜尔胶的高黏性阻碍了蛋白质分子之间牵引,降低了蛋白的弹性恢复力,从而导致面条的弹性的降低^[29],其中0.10%瓜尔胶对方便湿面弹性的改善效果最佳,且在储藏8d时,其弹性从对照组的0.87提高到0.91。由图2f可以看出,羧甲基纤维素钠0.30%的添加量对面条弹性的改善效果最佳,且在储藏6d时,方便湿面弹性从对照组的0.87提高到0.89。

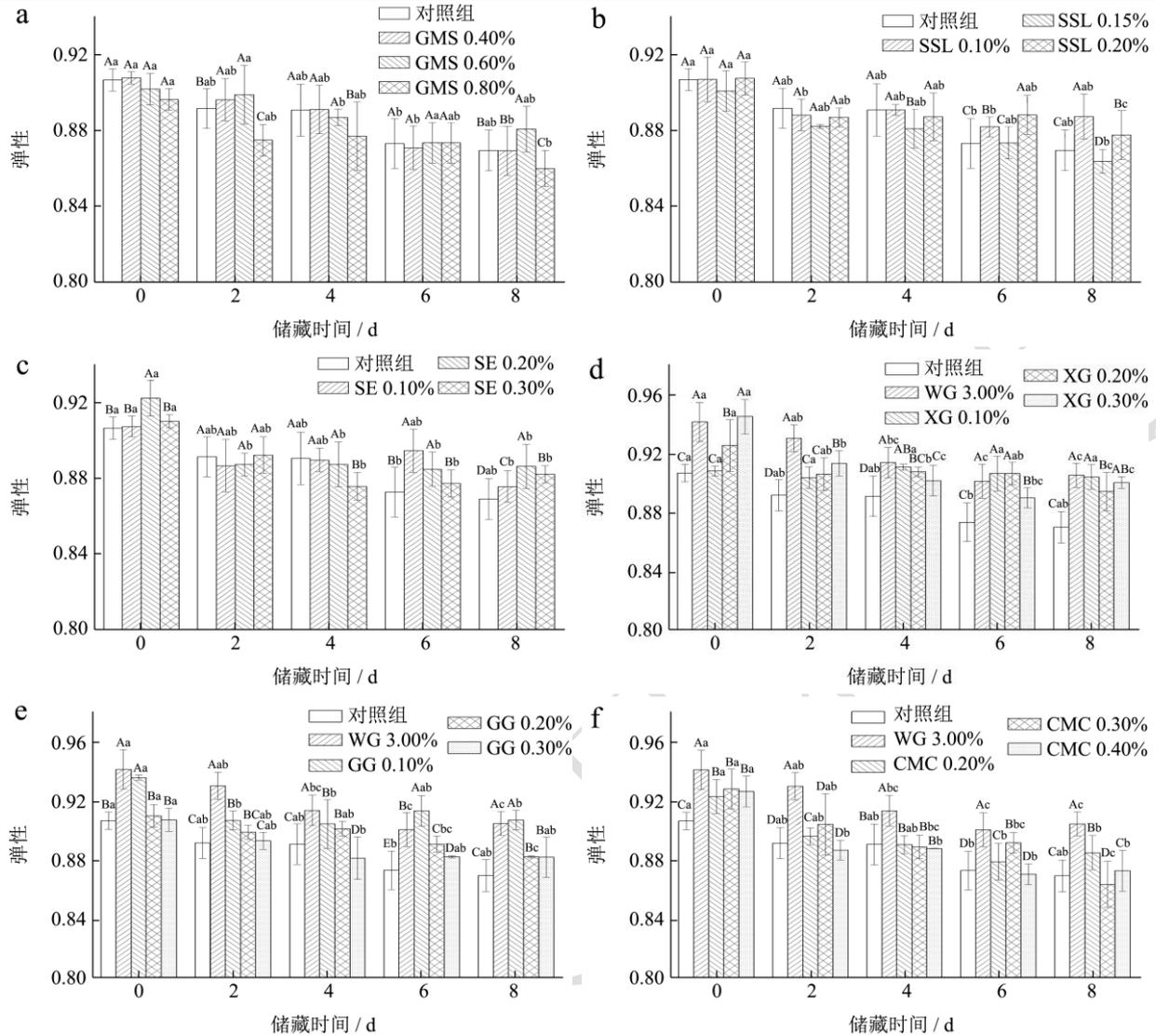


图2 储藏期间不同种类添加物对方便湿面弹性的影响

Fig.2 Effects of different kinds of additives on the spring of instant wet surface during storage

2.4 添加物对方便湿面拉伸特性的影响

不同种类的添加物在 4 °C 储藏条件对方便湿面拉伸力的影响如图 3 所示。由图 3a~3c 可知，方便湿面的拉伸力随储藏天数的增加呈下降的趋势，添加乳化剂显著提高了方便湿面的拉伸力 ($P < 0.05$)，这可能是乳化剂能够很好吸附、交联游离蛋白，使得面团的网络结构更加稳定从而提高方便湿面的拉伸力^[30]。在储藏期间，0.40% 的单甘酯、0.20% 的硬脂酰乳酸钠和 0.20% 的蔗糖酯对方便湿面的拉伸力提升效果最佳，且在储藏 8 d 时，使方便湿面的拉伸力从对照组的 17.94 g 分别提升到 19.90、17.94 和 20.59 g。综合比较来看，三种乳化剂对方便湿面拉伸力的改善效果为蔗糖酯 > 硬脂酰乳酸钠 > 单甘酯。

由图 3d~3f 可知，方便湿面的拉伸力随储藏天数的增加呈下降的趋势，添加亲水胶体和谷朊粉显著提

高了方便湿面的拉伸力 ($P < 0.05$)，这可能是因为亲水胶体加强了体系的吸水能力，同时能通过亲水作用和与蛋白以及淀粉的相互作用，对面筋网络结构进一步改善，进而改善了方便湿面的拉伸性能^[31]。在储藏期间，0.30% 的黄原胶、0.10% 的瓜尔胶和 0.40% 的羧甲基纤维素钠对方便湿面的拉伸力提升效果最佳，且在储藏 8 d 时，使方便湿面的拉伸力从对照组的 17.94 g 分别提升到 24.13、21.01 和 18.75 g。综合比较来看，三种亲水胶体对方便湿面拉伸力的改善效果为黄原胶 > 瓜尔胶 > 羧甲基纤维素钠。

不同种类的添加物在 4 °C 储藏条件对方便湿面拉断距离的影响如表 3 所示。由表 3 可知，方便湿面的拉断距离随储藏天数的增加而降低，添加乳化剂后提高了方便湿面的拉断距离，这可能与乳化剂可以使面筋蛋白小分子转变为大分子复合物，从而改善面筋网络结构有关^[18]。由表 3 可以看出，0.40% 单甘酯、

0.20%硬脂酰乳酸钠、0.20%蔗糖酯和谷朊粉对方便湿面拉断距离的提升效果最佳,使方便湿面的拉断距离从对照组的 19.85 mm 分别升高至 22.41、24.85、22.24 和 22.12 mm。谷朊粉和亲水胶体的加入,均使得方便

湿面的面筋网络结构得到改善,从而改善了方便湿面的拉伸性能,而不同类型和添加量亲水胶体对方便湿面的拉伸性能影响不同,可能和它们改善面筋网络结构的程度大小不同有关^[17,31]。

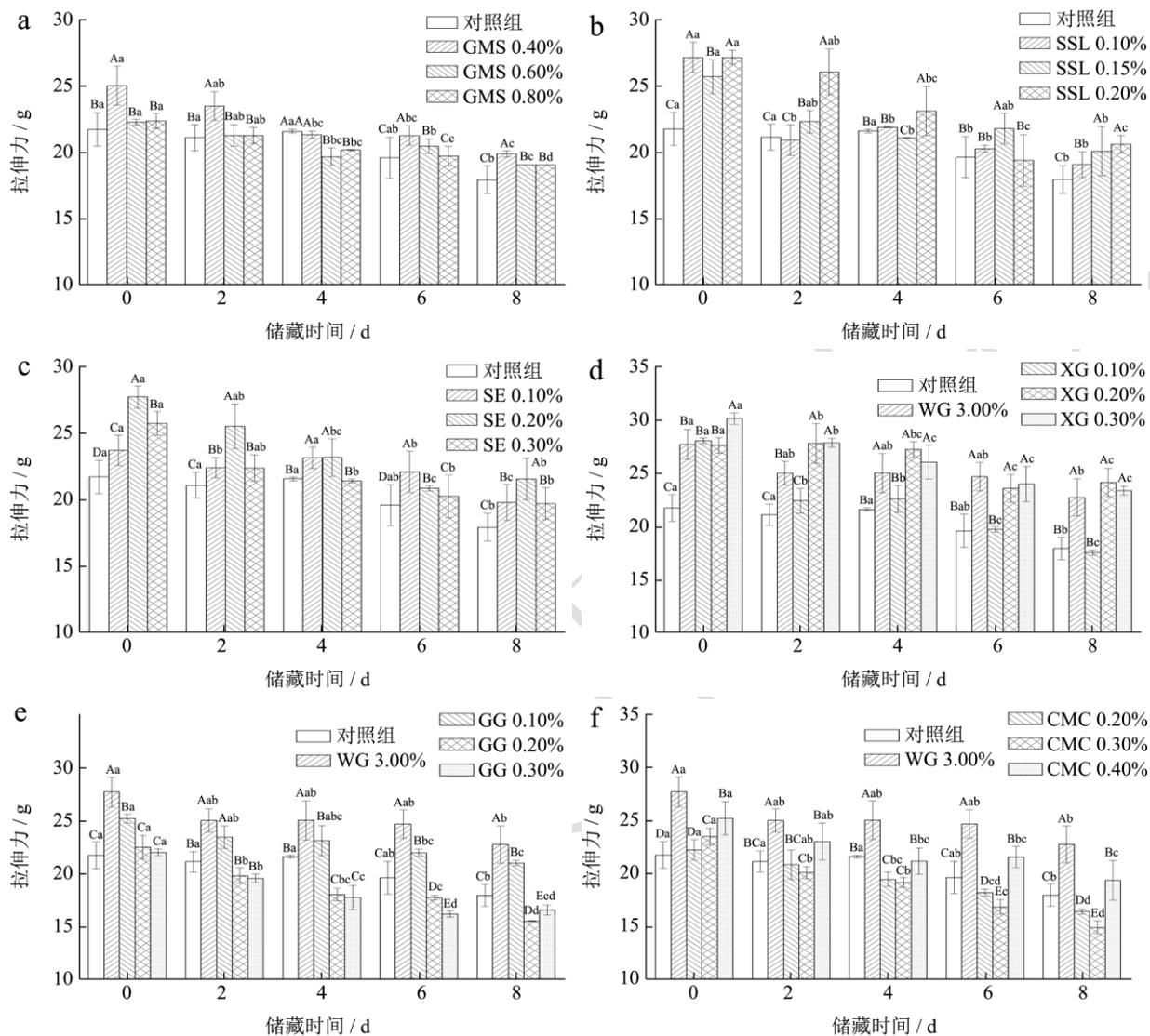


图 3 储藏期间不同种类添加物对方便湿面拉伸力的影响

Fig.3 Effects of different kinds of additives on the breaking force of instant wet surface during storage

表 3 储藏期间不同种类添加物对方便湿面拉断距离的影响

Table 3 Effects of different kinds of additives on the breaking distance of instant wet noodles during storage

样品	拉断距离/mm				
	0	2	4	6	8
对照组	28.80±1.18 ^{Ca}	22.83±0.16 ^{Fb}	21.03±2.33 ^{Eb}	20.19±0.29 ^{Cb}	19.85±1.49 ^{DEb}
GMS 0.40%	31.09±4.01 ^{Ca}	22.27±1.73 ^{Fb}	25.10±0.36 ^{CDab}	20.74±0.58 ^{Cb}	22.41±2.18 ^{BCb}
GMS 0.60%	30.64±0.35 ^{Ca}	24.10±0.36 ^{EFb}	21.17±0.45 ^{Ec}	21.89±0.86 ^{Cc}	21.07±0.85 ^{DEc}
GMS 0.80%	26.26±2.78 ^{Ca}	21.17±0.45 ^{Fbc}	24.10±0.36 ^{Dab}	20.89±0.56 ^{Cbc}	19.48±1.40 ^{Ec}
SSL 0.10%	43.97±0.25 ^{Ba}	30.05±0.61 ^{BCb}	26.60±1.76 ^{BCbc}	27.78±2.70 ^{Ab}	23.77±0.26 ^{ABc}
SSL 0.15%	44.13±0.59 ^{Ba}	26.77±3.87 ^{DEb}	24.17±0.19 ^{Dbc}	28.64±1.09 ^{Ab}	20.27±0.52 ^{DEc}
SSL 0.20%	51.91±3.59 ^{Aa}	32.46±2.78 ^{Ab}	27.96±0.89 ^{ABbc}	27.35±1.13 ^{Abc}	24.85±1.28 ^{Ac}
SE 0.10%	50.30±0.18 ^{Aa}	26.95±0.25 ^{DEb}	24.18±2.43 ^{Dbc}	24.79±0.03 ^{Bbc}	21.60±2.29 ^{DEc}

续表 3

样品	拉断距离/mm				
	0	2	4	6	8
SE 0.20%	59.57±1.86 ^{Aa}	32.00±1.73 ^{ABb}	29.11±0.38 ^{ABbc}	26.26±2.04 ^{ABcd}	22.24±2.07 ^{Cd}
SE 0.30%	55.85±1.80 ^{Aa}	28.83±1.61 ^{Cb}	23.46±1.29 ^{Dc}	20.48±0.30 ^{Cc}	20.49±0.72 ^{DEc}
对照组	28.80±1.18 ^{Ha}	22.83±0.16 ^{Db}	21.03±2.33 ^{DEb}	20.19±0.29 ^{BCb}	19.85±1.49 ^{Cb}
XG 0.1%	67.53±1.15 ^{Aa}	20.63±0.99 ^{Dc}	23.93±1.33 ^{CDb}	20.28±0.52 ^{BCc}	21.03±0.70 ^{ABc}
XG 0.2%	55.32±2.94 ^{CDa}	26.80±2.62 ^{BCb}	23.80±3.55 ^{CDbc}	20.32±0.78 ^{BCc}	20.59±1.10 ^{BCc}
XG 0.3%	64.08±0.35 ^{Ba}	22.18±0.92 ^{Db}	20.58±0.43 ^{Ec}	20.42±0.17 ^{BCc}	22.74±1.15 ^{Ab}
GG 0.1%	34.47±0.81 ^{Ga}	28.42±2.21 ^{Bb}	23.51±1.02 ^{CDc}	20.64±1.21 ^{BCc}	21.09±0.26 ^{ABc}
GG 0.2%	52.89±0.83 ^{Da}	26.04±1.06 ^{Cb}	22.19±2.75 ^{CDbc}	19.79±2.23 ^{BCc}	20.35±1.17 ^{BCc}
GG 0.3%	54.11±1.92 ^{Da}	21.00±0.65 ^{Db}	20.22±0.10 ^{Eb}	16.00±0.21 ^{Dc}	19.18±0.62 ^{CDb}
CMC 0.2%	43.79±2.15 ^{Fa}	27.24±2.00 ^{BCb}	29.32±0.52 ^{Ab}	18.80±1.57 ^{Cc}	15.99±1.13 ^{Eb}
CMC 0.3%	47.49±2.25 ^{Ea}	22.57±1.95 ^{Dbc}	25.72±1.85 ^{Bb}	18.49±0.43 ^{Ccd}	15.51±0.16 ^{Ed}
CMC 0.4%	58.41±5.38 ^{Ca}	29.37±2.83 ^{Bb}	24.78±2.00 ^{BCbc}	21.88±1.09 ^{ABcd}	17.28±1.70 ^{DEd}
WG 3%	70.64±3.35 ^{Aa}	31.87±2.08 ^{Ab}	23.76±2.55 ^{CDc}	23.39±2.31 ^{Ac}	22.12±1.36 ^{ABc}

注：数据由平均值±标准差表示，同列不同大写字母代表差异显著，同行不同小写字母代表差异显著 ($P<0.05$)。下同。

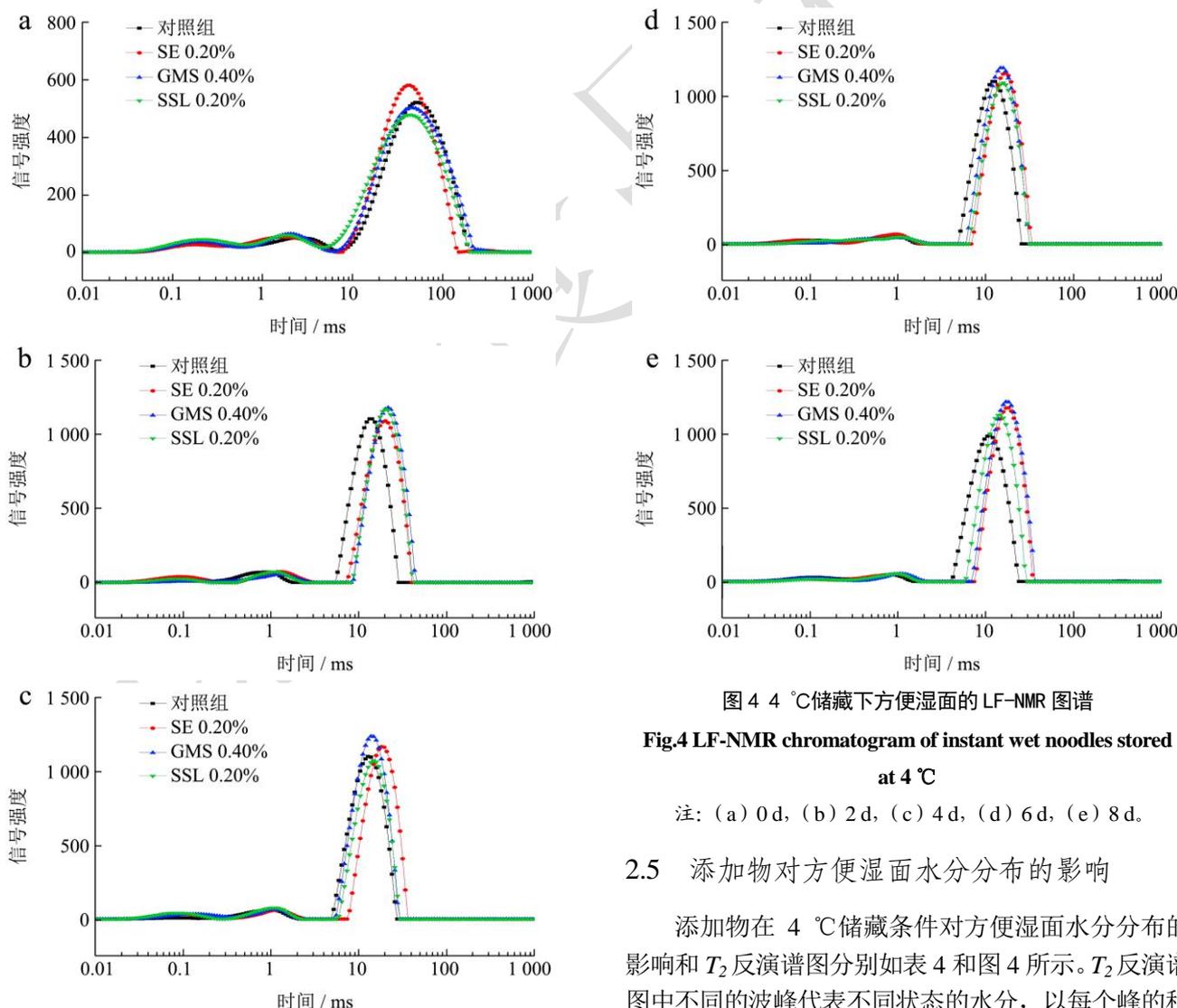


图 4 4 °C 储藏下方便湿面的 LF-NMR 图谱

Fig.4 LF-NMR chromatogram of instant wet noodles stored at 4 °C

注：(a) 0 d, (b) 2 d, (c) 4 d, (d) 6 d, (e) 8 d.

2.5 添加物对方便湿面水分分布的影响

添加物在 4 °C 储藏条件对方便湿面水分分布的影响和 T_2 反演谱图分别如表 4 和图 4 所示。 T_2 反演谱图中不同的波峰代表不同状态的水分，以每个峰的积

分面积占总峰面积的百分比表示不同状态的水分的相对含量, A_{21} 为结合水, A_{22} 为不易流动水, A_{23} 为自由水。由 4 可知, 随着储藏时间的延长, 方便湿面的结合水 A_{21} 逐渐下降, 不易流动水 A_{22} 逐渐下降, 自由水 A_{23} 逐渐上升。添加乳化剂后均降低了方便湿面 3 种水分的变化速率。在储藏期间, 单甘酯、硬脂酰乳酸钠和蔗糖酯使方便湿面的 A_{21} 含量从对照组的 1.06% 分别增加到 2.72%、2.09% 和 2.11%。硬脂酰乳酸钠和蔗糖酯使方便湿面的 A_{22} 含量从对照组的 4.50% 分别增加到 4.88% 和 5.37%。单甘酯、硬脂酰乳酸钠和蔗糖酯均使方便湿面的 A_{23} 含量从对照组的 94.47% 分别降低到 93.51%、93.03% 和 92.52%。由此可得乳化剂可以增加储藏期间的 A_{21} 和 A_{22} 含量, 降低 A_{23} 含量^[16]。其中硬脂酰乳酸钠效果最好, 这可能是因为它是阴离子型乳化剂, 可以利用电性差异固定水分, 吸附游离蛋白质, 促进面筋网络结构形成, 使其更好的束缚自由水^[30]。

三种状态水的弛豫时间分别标记为 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 。

其中 T_{21} 是结合水; T_{22} 是弱结合水层; T_{23} 比 T_{21} 和 T_{22} 更大, 流动性更强, 称为自由水。弛豫时间越短, 表明水与底物结合越紧密, 水的自由度越低^[32]。由表 4 知, 在储藏期间, 四组方便湿面 T_{21} 均呈下降趋势, 并且添加乳化剂的方便湿面的 T_{21} 均显著低于对照组, 且在储藏的第 8 天, 添加乳化剂的方便湿面的 T_{21} 从对照组的 0.12 ms 分别降低到 0.11、0.09 和 0.09 ms。添加乳化剂的方便湿面的 T_{22} 变化趋势与 T_{21} 的变化趋势一致, 且在储藏第 8 天时, 添加乳化剂的方便湿面的 T_{22} 均从对照组的 1.05 ms 降低到 0.91 ms, 说明乳化剂可以抑制不易流动水的活动性, 使得方便湿面的持水性进一步提高, 这与李立华等^[12]的研究结果一致。虽然四组方便湿面 T_{23} 均呈下降趋势, 但添加乳化剂的方便湿面的 T_{23} 均显著高于对照组, 说明乳化剂可以增加方便湿面体系内水分的活性。综上可知, 在储藏期间方便湿面弛豫时间 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 均有不同程度的下降。

表 4 乳化剂对方便湿面水分分布的影响

Table 4 Effect of emulsifier on moisture distribution of instant wet surface

样品指标	储藏时间/d					
	0	2	4	6	8	
T_{21} /ms	对照组	0.23±0.01 ^{Aa}	0.14±0.02 ^{Ab}	0.13±0.00 ^{Ab}	0.11±0.01 ^{Bb}	0.11±0.00 ^{Ab}
	GMS0.40%	0.19±0.01 ^{Ba}	0.14±0.00 ^{Ab}	0.12±0.05 ^{Ac}	0.17±0.00 ^{Aa}	0.11±0.05 ^{Ac}
	SSL0.20%	0.23±0.03 ^{Aa}	0.11±0.01 ^{Bb}	0.10±0.00 ^{Ab}	0.10±0.00 ^{Bb}	0.09±0.01 ^{Bb}
	SEO.20%	0.19±0.00 ^{Ba}	0.09±0.03 ^{Bb}	0.10±0.01 ^{Ab}	0.10±0.03 ^{Bb}	0.09±0.03 ^{Bb}
T_{22} /ms	对照组	2.58±0.08 ^{Aa}	1.43±0.15 ^{Ab}	1.29±0.13 ^{Ac}	1.12±0.20 ^{Ac}	1.05±0.15 ^{Ac}
	GMS0.40%	2.10±0.15 ^{Ba}	1.29±0.07 ^{Bb}	1.12±0.05 ^{Cb}	1.05±0.11 ^{Bb}	1.05±0.07 ^{Ab}
	SSL0.20%	1.82±0.07 ^{Ca}	1.12±0.05 ^{Bb}	1.12±0.18 ^{Cb}	1.04±0.14 ^{Bc}	0.91±0.13 ^{Bd}
	SEO.20%	1.70±0.12 ^{Da}	1.23±0.11 ^{Bb}	1.20±0.15 ^{Bb}	0.98±0.07 ^{Cc}	0.91±0.09 ^{Bc}
T_{23} /ms	对照组	54.79±1.05 ^{Aa}	14.65±1.36 ^{Bb}	12.75±0.88 ^{Cc}	11.89±0.63 ^{Cd}	11.10±1.19 ^{De}
	GMS0.40%	47.69±0.85 ^{Ba}	22.22±0.38 ^{Bb}	13.67±0.35 ^{Be}	15.70±0.72 ^{Bd}	16.83±0.39 ^{Bc}
	SSL0.20%	44.49±1.12 ^{Ca}	20.73±0.75 ^{Bb}	14.65±1.26 ^{Bd}	15.70±1.33 ^{Bc}	14.65±0.97 ^{Cd}
	SEO.20%	44.49±0.64 ^{Ca}	20.73±1.05 ^{Cb}	18.04±0.05 ^{Ac}	16.83±0.09 ^{Ad}	18.04±1.87 ^{Ac}
A_{21} /%	对照组	5.14±0.34 ^{Ba}	1.27±0.04 ^{Cc}	1.69±0.26 ^{Cb}	1.19±0.04 ^{Cd}	1.05±0.17 ^{Cd}
	GMS0.40%	5.25±1.23 ^{Ba}	3.83±0.72 ^{Bb}	3.90±0.34 ^{Ab}	2.91±0.27 ^{Bc}	2.71±0.34 ^{Ac}
	SSL0.20%	6.50±0.04 ^{Aa}	5.62±1.21 ^{Ab}	2.87±0.18 ^{Bc}	2.90±0.19 ^{Bc}	2.09±0.61 ^{Bd}
	SEO.20%	4.38±0.85 ^{Ca}	4.34±0.67 ^{Ba}	3.06±0.42 ^{Bb}	3.00±0.22 ^{Ab}	2.10±0.04 ^{Bc}
A_{22} /%	对照组	7.47±1.12 ^{Ba}	6.99±1.36 ^{Aa}	5.28±0.22 ^{Bb}	4.93±0.78 ^{Bb}	4.50±0.83 ^{Bc}
	GMS0.40%	7.24±1.53 ^{Ba}	5.10±0.42 ^{Bb}	4.52±0.48 ^{Cc}	3.11±1.01 ^{Cc}	3.75±0.23 ^{Cd}
	SSL0.20%	6.98±0.27 ^{Ba}	5.66±0.05 ^{Bb}	5.57±0.11 ^{Ab}	5.39±0.29 ^{Ab}	4.87±0.65 ^{Bc}
	SEO.20%	8.42±1.04 ^{Aa}	6.42±0.93 ^{Ab}	5.70±0.09 ^{Ac}	5.77±1.06 ^{Ac}	5.37±1.33 ^{Ad}
A_{23} /%	对照组	87.38±1.34 ^{Ac}	91.74±1.14 ^{Ab}	93.01±0.95 ^{Aa}	93.89±0.71 ^{Aa}	94.47±0.98 ^{Aa}
	GMS0.40%	87.49±0.71 ^{Bc}	91.06±1.01 ^{Bb}	91.57±0.43 ^{Bb}	93.96±0.42 ^{Aa}	93.51±0.01 ^{Ba}
	SSL0.20%	86.50±1.51 ^{Bd}	88.71±0.11 ^{Cc}	91.55±0.22 ^{Bb}	91.70±0.93 ^{Bb}	93.03±1.46 ^{Ba}
	SEO.20%	87.18±0.97 ^{Ad}	89.22±0.83 ^{Bc}	91.22±1.14 ^{Bb}	91.21±1.16 ^{Bb}	92.52±0.72 ^{Ca}

3 结论

乳化剂、亲水胶体和谷朊粉添加物能与淀粉相互作用,进而改善方便湿面的品质。单甘酯和瓜尔胶对方便面湿面的蒸煮品质、质构特性和拉伸特性改善效果较好。其中储藏 8 d 后,0.40%单甘酯和 0.30%瓜尔胶的方便湿面硬度变化较少,说明这两种添加物能有效的延缓淀粉的老化,改善方便湿面的质构特性;0.40%单甘酯较 0.30%瓜尔胶增加了拉断距离;0.40%单甘酯可较好的抑制结合水的流动,提高了结合水的含量。综上所述,0.40%单甘酯在改善方便湿面储藏品质方面效果较好。

参考文献

- [1] Wang Y H, Zhang Y R, Xu F, et al. Effect of boiling and steaming on the surface tackiness of frozen cooked noodles [J]. LWT- Food Science and Technology, 2020, 130: 109747.
- [2] Kiyat W E, Christopher A, Rianti A, et al. Application of transglutaminase in developing cassava-based wet noodle for quality and shelf life improvement: A review [J]. Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture, 2020, 11(3): 229-234.
- [3] Ya Da V B S, Ya Da V R B, Kumari M, et al. Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making [J]. LWT- Food Science and Technology, 2014, 57(1): 352-358.
- [4] 金露达,张关涛,李娟,等.鲜湿面货架期影响因素和保鲜技术研究进展[J].包装工程,2021,42(21):1-10.
- [5] Souza I, Oliveira W, Chang Y K, et al. Root and tuber flours to improve nutritional quality in instant noodles [J]. Research Society and Development, 2021, 10(4).
- [6] 高良.统一企业(台湾)推第三代方便面[J].食品科技,2003, 4:70.
- [7] 毛汝婧.鲜湿即食面品质改良及保鲜研究[D].兰州:甘肃农业大学,2016.
- [8] Mza B, Yan L A, Hw A, et al. Water migration depicts the effect of hydrocolloids on the structural and textural properties of lotus seed starch - Science Direct [J]. Food Chemistry, 2020, 315: 124260.
- [9] Ma M, Sun Q J, Li M, et al. Deterioration mechanisms of high-moisture wheat-based food - A review from physicochemical, structural, and molecular perspectives [J]. Food Chemistry, 2020, 318: 126495.
- [10] Wang S, Li C, Copeland L, et al. Starch retrogradation: A comprehensive review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14(5): 568-585.
- [11] 赵启竹.可溶性大豆多糖对淀粉老化的抑制及影响因素研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [12] 李立华,周文化,邓航.乳化剂对鲜湿面货架期内水分迁移及热力学影响[J].食品科学,2018,39(12):140-145.
- [13] 肖东,周文化,邓航,等.多糖类食品添加剂抑制鲜湿面老化机理研究[J].食品与机械,2017,33(3):121-126.
- [14] Liu Z P, Qi-Yu L U. Effect of adding cassava starch and wheat gluten on quality of moisturizing cooked noodles [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(20): 240-244, 255.
- [15] Guo G, Jackson D S, Graybosch R A, et al. Asian salted noodle quality: impact of amylose content adjustments using waxy wheat flour [J]. Cereal Chemistry, 2003, 80(4): 437-445.
- [16] Niu M, Hou G G, Kindelspire J, et al. Microstructural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers [J]. Food Chemistry, 2017, 223(MAY 15): 16-24.
- [17] 崔晚晚,李利民,郑学玲,等.不同种类谷朊粉对新鲜面条品质的影响[J].粮食与油脂,2018,12:43-49.
- [18] 陈佳佳,任国宝,任晨刚,等.谷朊粉、乳化剂对全麦面条品质的影响[J].粮食与油脂,2018,31(6):72-75.
- [19] Niu M, Hou G G, Kindelspire J, et al. Microstructural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers [J]. Food Chemistry, 2017, 223(MAY 15): 16-24.
- [20] 许春华.亲水胶体对面条品质影响的研究[J].粮食与食品工业,2013,20(6):45-49+52.
- [21] 邢正军.复合改良剂对面条品质影响的研究[D].合肥:安徽农业大学,2010.
- [22] Tang A, Li M, Wang R, et al. Manipulating raw noodle crystallinity to control the hardness of cooked noodle [J]. LWT - Food Science & Technology, 2019, 109: 305-312.
- [23] 张婉,魏益民,魏帅,等.鲜熟面条贮藏品质变化及货架期研究[J].中国粮油学报,2017,32(4):11-17.
- [24] 朱蝶,胡蓝,汪师帅.乳化剂分类,作用及在食品工业中应用[J].粮食流通技术,2019,9:7-10,13.
- [25] Pan Z L, Ai Z L, Wang T, et al. Effect of hydrocolloids on the energy consumption and quality of frozen noodles [J]. Journal of Food Science & Technology, 2016, 53(5): 2414-2421.
- [26] 曹蕊,陆启玉,刘紫鹏,等.木薯淀粉,谷朊粉,复合磷酸盐与瓜尔胶对冷冻熟面品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(1):24-30.

- [27] Silva E, Birkenhake M, Scholten E, et al. Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with high broccoli powder content by hydrocolloids [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 42-52.
- [28] 蔡宇洁.玉米鲜湿面加工工艺及品质改良研究[D].郑州:河南工业大学,2014.
- [29] 魏林.瓜尔豆胶对面条品质特性的影响[J].粮食与油脂, 2021,34(9):60-62,72.
- [30] 李立华.乳化剂对机制鲜湿面货架期内品质影响研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [31] 刘倩,郭晓娜,朱科学.黄原胶对冷冻熟面冻藏品质的影响[J].中国粮油学报,2019,34(9):1-6.
- [32] 林向阳,张宏,林玲,等.利用核磁共振技术研究添加剂对面团持水性的影响[J].食品科学,2008,10:353-356.